

PENGAPLIKASIAN KONTROLER PID PADA SISTEM KONTROL LEVEL KETINGGIAN AIR TANDON PENGUIN 1500 LITER MENGGUNAKAN MATLAB

Aiya Primagani Zawata Afnan¹, Fadhilah Raisa Husna², Ellena Nayla Firdausi³, Tatyantoro Andrasto⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang; Kampus Sekaran Gunungpati, Desa Sekaran, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50229, Indonesia; (024) 86008700.

Received: xxxx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

Keywords:

Kontrol PID; Sistem level air;
Simulasi MATLAB;
Pengisian air otomatis;
Respon sistem.

Correspondent Email:

tatyantoro@mail.unnes.ac.id

Abstrak. Penelitian ini membahas implementasi kontrol PID dalam menjaga kestabilan level air pada tandon rumah tangga menggunakan simulasi MATLAB. Topik ini penting mengingat kebutuhan pengendalian level air secara otomatis untuk efisiensi dan keamanan. Metode penelitian dilakukan dengan merancang model sistem ketinggian air tandon berkapasitas 1.500 liter, kemudian dilakukan simulasi respon kontrol PID dan variasi komponennya (P, PI, PD) untuk mengetahui karakteristik sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kontrol PID memberikan performa terbaik dengan respon cepat, stabil, dan akurat dalam mencapai setpoint tanpa overshoot signifikan dan tanpa steady-state error. Kontrol P dan PD kurang optimal karena masih terdapat error akhir atau overshoot, sedangkan kontrol PI lebih lambat namun akurat. Temuan ini penting untuk pengembangan sistem otomatisasi pengisian air yang efisien dan andal.

Abstract. This study discusses the implementation of PID control to maintain the stability of water levels in household tanks using MATLAB simulation. This topic is important due to the need for automatic water level control to improve efficiency and safety. The research method involved designing a water level system model for a 1,500-liter tank, followed by simulations of PID control and its component variations (P, PI, PD) to analyze system characteristics. Simulation results showed that PID control delivered the best performance with fast, stable, and accurate responses in reaching the setpoint without significant overshoot and steady-state error. P and PD controls were less optimal due to residual steady-state error or overshoot, while PI control was slower but accurate. These findings are significant for the development of efficient and reliable automatic water filling systems.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Selain digunakan untuk konsumsi, air juga dibutuhkan untuk mandi, mencuci, memasak, dan berbagai aktivitas rumah tangga lainnya [1]. Dalam praktiknya, kebutuhan air sehari-hari sering kali disimpan dalam tandon, baik sebagai cadangan maupun untuk menstabilkan pasokan air. Sayangnya, proses pengisian air

pada tandon masih banyak dilakukan secara manual, yang dapat menyebabkan pemborosan air dan ketidakefisienan jika tidak diawasi [2].

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menerapkan sistem kontrol otomatis. Kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) merupakan salah satu metode kendali populer karena mampu menyesuaikan output sistem berdasarkan error antara nilai referensi dan nilai

aktual. Komponen P memberikan respons awal cepat, komponen I menghilangkan error jangka panjang, sedangkan komponen D berfungsi mengurangi overshoot dan meningkatkan kestabilan sistem [3].

Efektivitas kontrol PID telah diuji pada berbagai aplikasi seperti pengaturan kecepatan motor dan sistem cairan industri [4]. Namun, sebagian besar studi yang dilakukan masih difokuskan pada sistem berskala besar seperti sistem pengolahan air industri, hidroponik, atau sistem berbasis PLC dan LoRa [5]. Sementara itu, beberapa penelitian lain hanya mengembangkan sistem pemantauan level air menggunakan sensor ultrasonik dan IoT tanpa mekanisme kendali aktif [6].

Penelitian oleh Kusuma dan Saragih, misalnya, hanya merancang sistem monitoring tanpa mengatur aliran air secara otomatis [7]. Sementara itu, Buwarda et al. telah mengembangkan sistem mini-plant berbasis LabVIEW dan PID, tetapi fokusnya pada model demonstrasi, bukan pada tandon skala rumah tangga [8].

MATLAB merupakan perangkat lunak simulasi teknik yang umum digunakan dalam analisis dan tuning sistem kontrol. Lingkungan MATLAB menyediakan fitur visualisasi dan simulasi blok diagram untuk membantu perancangan pengendali secara efisien [9]. Dengan MATLAB, performa sistem dapat diuji terlebih dahulu melalui simulasi untuk melihat respons terhadap gangguan dan variasi masukan.

Penelitian ini secara khusus difokuskan pada simulasi sistem kontrol level air menggunakan kontrol PID untuk tandon rumah tangga merek Penguin berkapasitas 1500 liter. Sistem yang dikembangkan dirancang secara closed-loop dan ditujukan untuk menjaga kestabilan air secara otomatis dan efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan menganalisis sistem kendali level air berbasis PID yang dapat direalisasikan pada skala rumah tangga dengan pendekatan simulasi MATLAB.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kontroler PID

Kontroler PID (Proportional–Integral–Derivative) merupakan metode pengendalian umpan balik yang digunakan untuk mengatur sistem agar dapat mencapai nilai referensi

dengan cepat dan stabil. PID menggabungkan aksi proporsional, integral, dan derivatif untuk meminimalkan error pada sistem secara keseluruhan. Efendi dan Candra menerapkan kontrol PID berbasis Arduino dan sensor ultrasonik untuk mengatur ketinggian air dalam tandon, dan hasilnya menunjukkan overshoot serta steady-state error yang rendah [10]. Nurwicaksana et al. juga mengimplementasikan PID dalam sistem pengisian tangki air otomatis dan melakukan tuning berdasarkan karakteristik sistem untuk menjaga kestabilan permukaan air [11].

2.2. MATLAB untuk Simulasi dan Tuning

MATLAB merupakan perangkat lunak simulasi teknik yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem kendali. MATLAB menyediakan fitur seperti Simulink dan PID Tuner yang dapat digunakan untuk memodelkan sistem, menganalisis respon, dan menyempurnakan parameter kontrol. Ye menyimulasikan algoritma PID menggunakan MATLAB untuk menguji kestabilan dan efisiensi sistem kendali sebelum implementasi [12]. Wardhana et al. memanfaatkan MATLAB dan metode Ziegler–Nichols untuk menyetel parameter kontrol PI pada sistem level air, dan hasilnya menunjukkan perbaikan performa terhadap gangguan [13].

2.3. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan alat ukur non-kontak yang sering digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan dalam tangki atau tandon. Sensor seperti JSN-SR04T bekerja dengan mengirimkan gelombang suara berfrekuensi tinggi dan mengukur waktu pantulnya untuk menghitung jarak. Az-Zikri et al. merancang sistem monitoring level air berbasis IoT menggunakan sensor JSN-SR04T yang dapat membaca tinggi air secara real-time dan mengirim data ke sistem pengendali [14]. Selain itu, Hutauruk menunjukkan pentingnya integrasi sensor dan aktuator dalam sistem pengaturan cairan otomatis berbasis logika finite state machine [4].

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode simulasi berbasis MATLAB untuk menguji efektivitas kontrol PID dalam menjaga kestabilan level air pada tandon

rumah tangga.

3.1. Perancangan Model Sistem Ketinggian Air Tandon

Model ini dirancang untuk mempresentasikan dinamika pengisian air dalam tandon berkapasitas 1,500 Liter (1,5 m³). Air masuk ke tandon melalui pompa yang dikendalikan oleh mikrokontroler berdasarkan pembacaan sensor Ultrasonic. Tujuannya adalah untuk menjaga level air tetap pada set point tertentu (misalnya 1 meter).

- Debit Masuk (Q_{in}) adalah input system, yang dikontrol ON/OFF oleh pompa.
- Debit Keluar (Q_{out}) berasal dari pemakaian atau bisa juga berasal dari kebocoran.

Model dinamika system level cairan dapat dimodelkan menggunakan analogi kelistrikan dengan memperkenalkan konsep resistansi dan kapasitansi. Berdasarkan pendekatan ini, diperoleh persamaan diferensial yang menggambarkan hubungan antara debit aliran dan perubahan ketinggian cairan dalam tangki, yang selanjutnya di transformasikan ke domain Laplace untuk analisis lebih lanjut.

Persamaan dasar sistem – berdasarkan hukum kekekalan massa, laju perubahan volume air dalam tandon dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{dV(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t) \quad (1)$$

Karena Volume $V(t) = A \cdot h(t)$, maka :

$$A \cdot \frac{dh(t)}{dt} = Q_{in}(t) - \frac{1}{R} h(t) \quad (2)$$

Dengan :

- A = luas penampang tandon m²
- $h(t)$ = tinggi permukaan air (m)
- R = resistansi aliran keluar (s/m²)

Persamaan diferensial – diperoleh dari penerapan hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa laju perubahan volume sama dengan selisih antara aliran masuk dan keluar. Dari rumus diatas, kita dapat memperoleh rumus yang merupakan bentuk akhir dari hukum kekekalan massa dalam bentuk persamaan diferensial adalah :

$$\frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{AR} h(t) = \frac{1}{A} Q_{in}(t) \quad (3)$$

Konversi ke Domain Laplace untuk analisis kontrol – Dengan asumsi kondisi awal nol, dilakukan transformasi Laplace :

$$sH(s) + \frac{1}{AR} H(s) = \frac{1}{A} Q_{in}(s) \quad (4)$$

Sehingga didapat fungsi alih sistem :

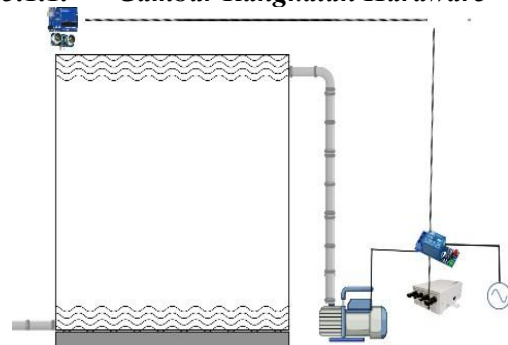
$$\frac{H(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1}{As + \frac{1}{R}} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (5)$$

Dengan :

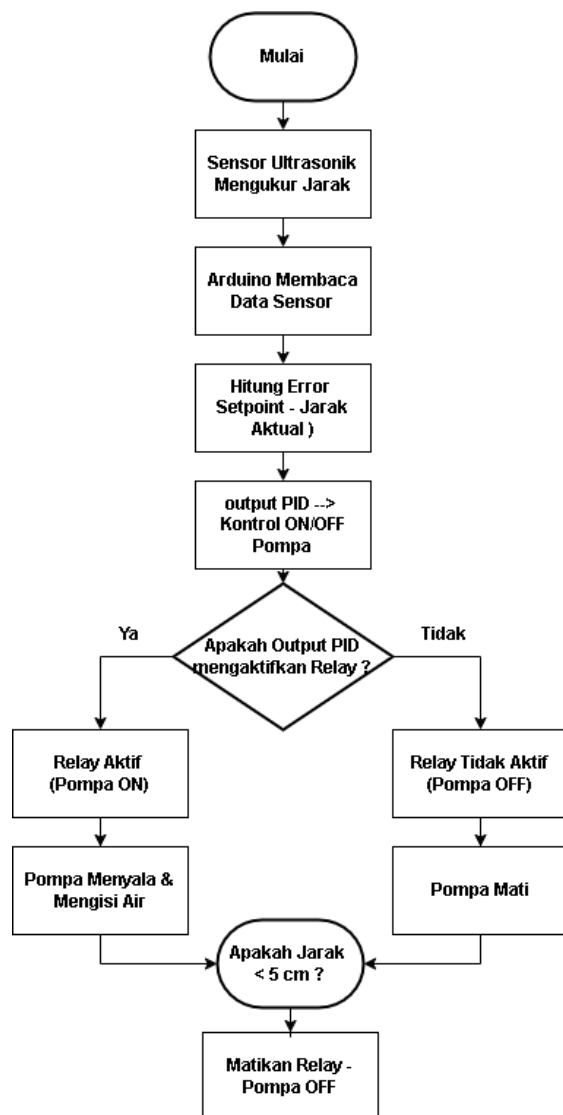
- $K = R$
- $\tau = AR \rightarrow$
konstanta waktu sistem

Ilustrasi sistem kontrol ketinggian air pada tandon, di mana sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi tinggi permukaan air, dan pompa dikendalikan berdasarkan hasil pengukuran untuk mengatur debit air masuk

3.1.1. Gambar Rangkaian Hardware



3.1.2. Diagram Blok dari Jalannya Sistem



3.2. Desain Sistem Kontrol PID.

Kontrol PID (Proposional – Integral – Derivative) merupakan salah satu metode kontrol paling populer di dunia Industri dan otomasi. Tujuannya sederhana, yaitu membuat sistem mencapai target (Setpoint) dengan cepat, akurat, dan stabil meskipun ada gangguan (misal : perubahan debit air keluar atau terjadi kebocoran).

Kontroler PID terdiri dari tiga aksi dasar :

- **Proposional (P)**
Merupakan respon kesalahan (error) instan :

$$u_p(t) = K_p e(t) \quad (6)$$

K_p : Gain Proposional

$e(t)$: $h_{\text{setpoint}} - h(t)$: selisih

tinggi air aktual dan setpoint

- **Integral (I)**
Menghilangkan steady – state error dengan mengakumulasi error waktu.

$$u_I(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (7)$$

$K_i = \frac{K_p}{T_i}$: Gain integral (T_i : waktu integral)

- **Derivative (D)**
Meredam osilasi dengan merespon laju perubahan error.

$$u_D(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

$K_d = K_p T_d$ dengan T_d adalah waktu derivate

Total sinyal Control PID dalam domain waktu.

$$u_p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (9)$$

Fungsi alih PID dalam Domain Laplace.
Transformasi laplace dari persamaan PID.

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (10)$$

- **Fungsi alih kontroler PID.**

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (11)$$

Keterangan :

- $G_c(s)$: fungsi alih kontroler PID
- $U(s)$: sinyal kendali dalam domain laplace
- $E(s)$: sinyal error dalam domain Laplace.
- K_p : gain proposional
- K_i : gain integral
- K_d : gain derivative

- **Bentuk Alternatif (Filtered Derivative)**

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \alpha T_d s} \right) \quad (12)$$

Keterangan :

- K_p : gain proposional
- T_i : waktu integral
- T_d : gain derivative
- α : konstanta filter
- Bentuk $\frac{T_d s}{1 + \alpha T_d s}$ untuk menghindari noise.

Tujuan dari penggunaan PID sendiri pada Sistem Level air untuk mencapai setpoint dengan respon cepat (P), Akurasi tinggi (I), Stabilitas terhadap gangguan (D). Mengatasi dinamika sistem yaitu inersia akibat luas tandon (A), Gangguan debit keluar (Q_{out}).

3.3. Implementasi Simulasi MATLAB

Simulasi ini dilakukan menggunakan MATLAB versi terbaru dengan dukungan Control System Toolbox MATLAB dipilih karena memiliki kemampuan komputasi numerik dan visualisasi data yang baik, sehingga cocok digunakan dalam analisis dan simulasi sistem kontrol.

Desain model sistem – yang dibangun melalui pendekatan matematis menggunakan script MATLAB. Dalam pendekatan ini, fungsi transfer sistem dan kontroler PID didefinisikan secara langsung dalam bentuk persamaan. Selanjutnya di analisis menggunakan perintah – perintah numerik. Metode ini dapat memudahkan untuk pengolahan data dan fleksibel dalam hal tuning paramater secara manual ataupun otomatis.

Parameter yang digunakan – untuk control PID awal di asumsikan sebagai berikut.

- $K_p = 2.0$ (memberikan respon cepat terhadap error).
- $K_i = 0.1$ (menghilangkan steady – state error secara bertahap.
- $K_d = 0.5$ (mengurangi osilasi dan overshoot).

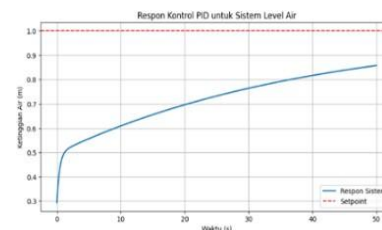
Nilai – nilai tersebut ditetapkan sebagai asumsi awal dalam simulasi. Penyesuaian nilai parameter (tuning) dapat dilakukan pada tahap analisis untuk memperoleh kinerja sistem yang lebih optimal.

Pengaturan Setpoint dan Waktu Simulasi – dengan di asumsikan dengan nilai sebagai berikut.

- Setpoint ketinggian air = 1 Meter
- Waktu Simulasi = 50 detik.

- Interval Waktu = 0.1 detik.

Konfigurasi ini dipilih karena dapat menangkap karakteristik respon sistem secara menyeluruh, baik pada kondisi transien maupun steady – state. Gambar ini menunjukkan hasil simulasi awal untuk sistem level air dengan parameter PID yang diasumsikan, grafik ini digunakan untuk menguji kestabilan dan respons sistem berdasarkan pemodelan matematis yang telah dilakukan.



3.4. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data dikumpulkan secara virtual melalui simulasi menggunakan MATLAB dengan bantuan *Control System Toolbox*. Simulasi ini menghasilkan data numerik dan grafik yang merepresentasikan kinerja sistem kontrol PID terhadap model sistem ketinggian air.

Jenis Data yang Dikumpulkan :

1. **Ketinggian Air terhadap Waktu**
Data ini menunjukkan respon sistem terhadap masukan step (setpoint), yang menggambarkan bagaimana ketinggian air berubah seiring waktu
2. **Karakteristik Respon Sistem**
Diambil menggunakan fungsi stepinfo pada MATLAB, meliputi:
 - a. **Rise Time:** Waktu sistem naik dari 10% ke 90% nilai akhir.
 - b. **Settling Time:** Waktu sistem mencapai dan tetap dalam batas toleransi (misal $\pm 2\%$) terhadap setpoint.
 - c. **Overshoot:** Seberapa besar sistem melebihi setpoint

dalam persen.

- d. **Steady-State Error:** Selisih antara output akhir dan setpoint setelah sistem stabil.

3. Respon terhadap Perubahan Parameter PID.

Data tambahan dikumpulkan saat melakukan tuning parameter PID (K_p , K_i , K_d) untuk melihat pengaruhnya terhadap performa sistem

4. Error terhadap waktu.

Merupakan selisih antara setpoint dan ketinggian air aktual pada setiap titik waktu. Data ini berguna untuk menilai kestabilan dan ketepatan sistem.

Analisis Data – data yang diperoleh dianalisis menggunakan grafik dan perhitungan numerik. Grafik respon sistem digunakan untuk melihat perilaku dinamis secara visual, sedangkan data numerik dianalisis untuk meng-evaluasi performa sistem kontrol. Semua proses dilakukan dalam lingkungan simulasi, tanpa alat ukur fisik. Sehingga seluruh pengukuran bersifat virtual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing – masing komponen kontrol PID secara terpisah dan gabungan terhadap sistem tangki air, sebelum diterapkan pada skenario realistik. Pengujian dilakukan menggunakan model matematis berbasis fungsi transfer orde satu.

4.1. Pengontrolan Propotional (P)

Control P menghasilkan respon cepat, namun tidak mencapai setpoint secara akurat. Steady-state error masih muncul karena tidak ada koreksi terhadap error jangka panjang.

$$u_p(t) = K_p e(t) \quad (13)$$

Dimana :

K_p : Gain Proposional

$e(t)$: $h_{setpoint} - h(t)$: selisih tinggi air aktual dan setpoint

Kontrol P dapat mempercepat respon sistem terhadap perubahan error, namun tidak mampu menghilangkan steady – state error karena tidak memiliki elemen koreksi akumulatif.

Implementasi Simulasi

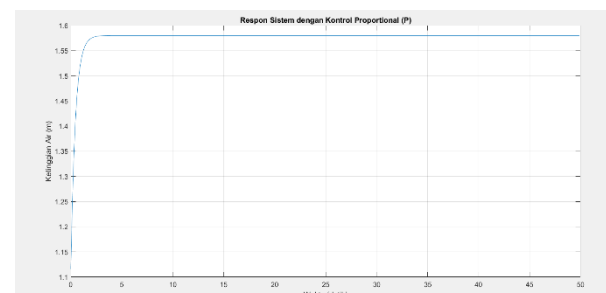
- Ketinggian Awal Air : 1.00 meter
- Target Ketinggian (setpoint) : 1.58 meter.
- Parameter
 $K_p = 3$
 Tidak ada K_i dan K_d (Karena hanya kontrol P).

Kode Simulasi MATLAB

```
Kp = 2;
setpoint = 1.58;
y = 1.00;
dt = 0.1;
T = 50;
N = T/dt;

for k = 1:N
    u = Kp * (setpoint - y);
    y = y + u * dt;
    y = min(y, 1.68);
    y_hist(k) = y;
end

plot((0:N-1)*dt, y_hist)
xlabel('Waktu (detik)')
ylabel('Ketinggian Air (m)')
title('Respon Sistem dengan Kontrol Propotional (P)')
grid on
```



Analisis Hasil

- **Respons stabil:** Tidak ada overshoot, sistem naik secara bertahap dan halus.
- **Implementasi sederhana:** Hanya mengandalkan penguatan proporsional.

4.2. Pengontrolan Propotional – Integral (PI)

Menggabungkan dua komponen kendali, yaitu Propotional dan Integral. Komponen propotional mempercepat respon awal terhadap error, sedangkan komponen Integral berfungsi untuk mengakumulasi error dan menghilangkan steady – state error. Persamaan kendali PI dinyatakan sebagai berikut.

$$u_{PI}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (14)$$

Dimana :

K_p : Gain Proposional

$e(t) : h_{setpoint} - h(t)$: selisih tinggi air aktual dan setpoint

$K_i = \frac{K_p}{T_i}$: Gain integral (T_i : waktu integral)

Komponen Integral sangat efektif untuk mencapai akurasi tinggi karena memperbaiki error yang berlangsung terus – menerus, namun efeknya dapat membuat respon sistem lebih lambat.

Implementasi Simulasi

- Ketinggian Awal air : 1.00 Meter
- Target setpoint : 1.58 Meter
- **Parameter :**
 $K_p = 3$
 $K_i = 0.2$

Kode Simulasi MATLAB

Analisis Hasil

4.3. Pengontrolan Propotional – Derivative (PD)

Kontrol **Proportional–Derivative (PD)** merupakan gabungan antara komponen proportional dan derivative. Komponen proportional berfungsi memberikan respon awal terhadap error, sedangkan komponen derivative berfungsi memperkirakan arah perubahan error dan memberikan aksi peredam.

Persamaan kendali PD dapat dituliskan sebagai berikut.

$$u_{PD}(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (15)$$

Dimana :

K_p : Gain Proposional

$e(t) : h_{setpoint} - h(t)$: selisih tinggi air aktual dan setpoint

$K_d = K_p T_d$ dengan T_d adalah waktu derivative

Parameter :

- $K_p = 3$
- $K_i = 0$
- $K_d = 0.8$

Kode Simulasi MATLAB

Analisis Hasil

4.4. Pengontrolan Propotional – Integral – Derivative (PID).

Pengontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah salah satu metode kendali paling umum digunakan dalam sistem otomatisasi karena kemampuannya memberikan respons yang cepat, stabil, dan akurat. Tiga komponen utama dalam kontrol ini bekerja secara sinergis. Komponen proportional (P) memberikan respon awal terhadap error, mempercepat proses menuju target. Komponen integral (I) bertugas mengakumulasi kesalahan dari waktu ke waktu untuk menghilangkan steady-state error. Sementara itu, komponen derivative (D) berfungsi memprediksi arah perubahan error dan mengurangi kemungkinan overshoot serta osilasi. Dengan kombinasi ketiganya, kontrol PID mampu mengatur sistem dengan lebih responsif dan stabil dibandingkan kontrol P maupun PI.

Persamaan kendali PID dari hasil pembahasan ini dapat dituliskan.

$$u_p(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

Dimana :

K_p : Konstanta Proposional

K_i : Konstanta Integral

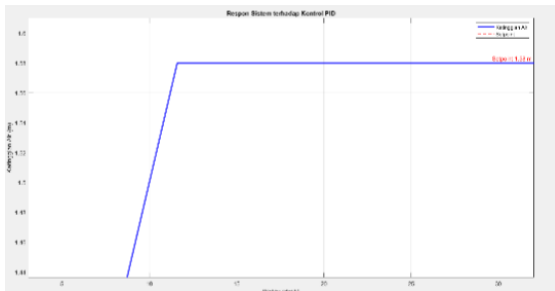
K_d : Konstanta Derivative

Parameter

- $K_p = 25$
- $K_i = 0.5$
- $K_d = 2$

Kode Simulasi MATLAB

```
1 % Parameter sistem
2 h0 = 1.00; % ketinggian awal (meter)
3 h_set = 1.58; % setpoint akhir (meter)
4 T = 0.01; % waktu simulasi (detik)
5 dt = 0.1; % langkah waktu
6 n = length(T);
7
8 % Parameter PID
9 Kp = 25;
10 Ki = 0.5;
11 Kd = 2;
12
13 % Inisialisasi variabel
14 h = zeros(1, n); h(1) = h0;
15 e = zeros(1, n);
16 u = zeros(1, n);
17 int_e = 0;
18 deriv_e = 0;
19
20 for i = 2:n
21 % Error
22 e(i) = h_set - h(i-1);
23
24 % Integral dan derivatif error
25 int_e = int_e + e(i)*dt;
26 deriv_e = (e(i) - e(i-1))/dt;
27
28 % Kontrol PID
29 u(i) = Kp*e(i) + Ki*int_e + Kd*deriv_e;
30
31 % Batasan kontrol
32 u(i) = max(0, min(u(i), 0.05)); % nilai maks
33
34
```



Analisis Hasil

Kontrol PID menunjukkan performa yang sangat baik dalam proses pengisian air dari 1.00 m menuju setpoint 1.58 m. Respon sistem cepat, mencapai target dalam waktu singkat tanpa menunjukkan gejala overshoot yang berarti. Hal ini menunjukkan bahwa komponen derivatif (D) efektif dalam meredam perubahan mendadak dan menjaga kestabilan sistem.

Sistem berhasil mencapai setpoint akhir dengan akurasi tinggi, yang merupakan kontribusi dari komponen integral (I) dalam memperbaiki error jangka panjang. Tidak terlihat adanya steady-state error pada hasil simulasi, menandakan bahwa sistem telah terkendali secara menyeluruh.

Karena menggunakan kontrol PID, maka:

- P (Proportional) → memberikan respon awal yang cepat terhadap error.
- I (Integral) → memperbaiki error akhir dan memastikan sistem mencapai setpoint dengan tepat (tidak ada offset).
- D (Derivative) → meredam perubahan mendadak dan mencegah osilasi atau overshoot, menjaga sistem tetap stabil.

Secara keseluruhan, kontrol PID memberikan kombinasi terbaik antara kecepatan respon, stabilitas, dan akurasi, sehingga sangat cocok untuk sistem pengisian air otomatis yang membutuhkan ketelitian dan keamanan operasi.

Tabel 1. Perbandingan Ringkas Pengontrol P, PI, PD, dan PID

Aspek	P	PI	PD	PID
Komponen	P	P+I	P+D	P+I+D
Error Akhir	Ada	Tida-k	Ada	Tidak
Over-shoot	Tidak	Tidak	Ada	Hampir
Rise Time	Cepat	Sedang	Sa-ngat	Cepat
Sett-ling	Sedang	Lama	Sing-kat	Singkat
Cata-tan	Cepattapi offset	Akurat, lebih lambat	Stabil, masih offset	Cepat, stabil, akurat

5. KESIMPULAN

Adapun Kesimpulan dari penelitian ini:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengontrol PID memberikan performa terbaik dalam menjaga kestabilan level air tandon rumah tangga, dibandingkan metode P, PI, maupun PD. Melalui simulasi MATLAB, kontrol PID mampu menghasilkan respon cepat (rise time singkat), stabil (settling time singkat, tanpa osilasi berlebih), serta akurat (tanpa steady-state error dan overshoot yang berarti). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi aksi Proportional, Integral, dan Derivative secara sinergis mampu menangani dinamika sistem pengisian air secara optimal.
2. Kelebihan dari kontrol PID adalah kemampuannya merespons perubahan secara efisien, mencapai setpoint dengan tepat, dan mempertahankan kestabilan walaupun terjadi gangguan atau variasi debit air keluar. Sementara itu, kontrol P dan PD memiliki respon awal yang cepat namun tidak akurat karena masih menyisakan error akhir. Kontrol PI cukup akurat, namun responnya cenderung lambat dan kurang stabil.
3. Kekurangan dari penelitian ini terletak pada keterbatasan simulasi yang hanya berbasis model matematis orde satu dan tanpa mempertimbangkan faktor-faktor fisik

seperti delay sensor, variasi tekanan air, atau noise lingkungan nyata. Selain itu, tuning parameter PID masih dilakukan secara manual dan tidak mengadaptasi kondisi sistem secara otomatis.

4. Untuk pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat diarahkan pada implementasi kontrol PID adaptif yang mampu menyesuaikan parameter secara real-time, serta pengujian langsung menggunakan perangkat keras (hardware-in-the-loop) agar mendekati kondisi nyata dan meningkatkan keandalan sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh pihak di Program Studi Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bimbingan, fasilitas, serta masukan yang sangat berarti dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa yang telah memberikan semangat dan dukungan selama proses simulasi dan penyusunan laporan ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan sistem kontrol otomatisasi di bidang teknik elektro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahmani, S., Rosana, S. A., & Tian, G. H., "Sistem Kontrol Level Air Dengan Pengontrol PID," *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 10, no. 2, pp. 174–181, 2022.
- [2] Prasetyo, M. O., Setiawan, A., Gunawan, R. D., & Abidin, Z., "Sistem Pengendali Air Tower Rumah Tangga Berbasis Android," 2020.
- [3] Dermawan, D., Basyari, H. A., Fathurrohman, M. F., & Nugraha, A. T., "Kendali Kecepatan Motor Dengan Kontrol PID Menggunakan Metode Metaheuristik," in *Seminar MASTER PPNS*, vol. 8, no. 1, pp. 236–243, 2023.
- [4] Hutauruk, A. R., "Kendali Otomatis Tingkat Ketinggian Air dan Nutrisi pada Hidroponik Menggunakan Metode Finite State Machine," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, 2025.
- [5] Jonata, D., Panjaitan, S. D., & Marindani, E. D., "Sistem Kendali Kualitas dan Level Air pada Water Treatment Plant Berbasis PLC Menggunakan LoRa," *Jurnal Studi Multidisipliner*, vol. 9, no. 1, 2025.
- [6] Hasanah, A. P., & Hafni, H., "Perancangan Sistem Monitoring Level Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT dengan Aplikasi Blynk," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, 2025.
- [7] Kusuma, A. S., & Saragih, Y., "Perancangan Sistem Monitoring Ketinggian Air Pada Tangki Soft Water Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 11, no. 2.C, pp. 9–16, 2025.
- [8] Buwarda, S., Mutmainnah, M., & Lutfi, L., "Rancang Bangun Mini Plant (Water Level Controller) Menggunakan PID Berbasis LabVIEW dan Arduino Uno," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 13, no. 1, pp. 838–845, 2024.
- [9] Sofiah, S., & Haikal, M. H., "Perancangan dan Analisis Gerbang Logika Dasar dengan Menggunakan SIMULINK pada MATLAB," *Jurnal Surya Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 58–66, 2025.
- [10] Efendi, M., & Candra, F. (2025). Design and Implementation of Arduino-Based PID Control System for Water Level Regulation Using Ultrasonic Sensors. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering*, 69(1), 57–64.
- [11] Nurwicaksana, W. A., Riskitasari, S., Permatasari, D. A., & Wahono, W. T. (2024). Optimisasi Sistem Pengisian Tangki Air Otomatis Menggunakan Kontrol PID untuk Menjaga Kestabilan Ketinggian Air. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(1), 246–252.
- [12] Ye, L. (2024). MATLAB Simulation of PID Control Algorithm. *Journal of Theory and Practice of Engineering Science*, 4(03), 28–45.
- [13] Wardhana, A. S., Maindra, Z. A., & Adinda, R. R. (2024). Evaluasi Kinerja Kontrol PI Ziegler–Nichols untuk Pengendalian Level Tangki Air Menggunakan Arduino dan Sensor Ultrasonik. *INTEGER: Journal of Information Technology*, 9(2).
- [14] Az-Zikri, A. N., Indriyanto, S., & Wicaksono, A. (2025). Perancangan Prototipe Sistem Monitoring Level Air Tandon Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Sensor Ultrasonik JSN-SR04T. *Jurnal SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, 2(1), 13–22.